

PCT/JPO3/08577

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

04.07.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年 7月 5日

出願番号  
Application Number: 特願 2002-197140

[ST. 10/C]: [JP 2002-197140]

出願人  
Applicant(s): 三菱住友シリコン株式会社

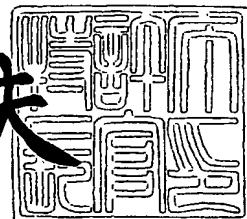
REC'D 22 AUG 2003  
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 8月 7日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P02ML010B  
【提出日】 平成14年 7月 5日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 C30B 29/06  
C30B 15/22  
H01L 21/208  
【請求項の数】 3  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 三菱住友シリコン株式会社内  
【氏名】 若林 大介  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 三菱住友シリコン株式会社内  
【氏名】 斎藤 正夫  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 三菱住友シリコン株式会社内  
【氏名】 佐藤 智  
【特許出願人】  
【識別番号】 302006854  
【氏名又は名称】 三菱住友シリコン株式会社  
【代理人】  
【識別番号】 100085372  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 須田 正義

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003285

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 シリコン単結晶を製造する方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ヒータ(17)により融解されたシリコン融液(13)からシリコン単結晶棒(24)を引上げ、この引上げ中のシリコン単結晶棒(24)の直径変化を所定時間毎に検出し、この検出出力を前記シリコン単結晶棒(24)の引上げ速度及び前記ヒータ(17)温度にフィードバックして前記シリコン単結晶棒(24)の直径を制御するシリコン単結晶を製造する方法において、

前記シリコン単結晶棒(24)が目標直径になるように前記シリコン単結晶棒(24)の引上げ速度を制御する方法と、前記シリコン単結晶棒(24)が目標直径になるように前記ヒータ(17)温度を制御する方法とに、それぞれ複数段階にP I D定数を変化させたP I D制御を適用することを特徴とするシリコン単結晶を製造する方法。

【請求項 2】 ヒータ(17)により融解されたシリコン融液(13)からシリコン単結晶棒(24)を引上げ、この引上げ中のシリコン単結晶棒(24)の直径変化を所定時間毎に検出し、この検出出力を前記シリコン単結晶棒(24)の引上げ速度及び前記ヒータ(17)温度にフィードバックして前記シリコン単結晶棒(24)の直径を制御するシリコン単結晶を製造する方法において、

前記シリコン単結晶棒(24)が目標直径になるように前記シリコン単結晶棒(24)の引上げ速度をP I D制御する方法に前記シリコン単結晶棒(24)の目標直径及び実測直径の直径偏差を直接フィードバックする方法と、前記直径偏差の変化量を偏差として現在の引上げ速度にフィードバックする方法とを組合せることを特徴とするシリコン単結晶を製造する方法。

【請求項 3】 ヒータ(17)により融解されたシリコン融液(13)からシリコン単結晶棒(24)を引上げ、この引上げ中のシリコン単結晶棒(24)の直径変化を所定時間毎に検出し、この検出出力を前記シリコン単結晶棒(24)の引上げ速度及び前記ヒータ(17)温度にフィードバックして前記シリコン単結晶棒(24)の直径を制御するシリコン単結晶を製造する方法において、

前記シリコン単結晶棒(24)の目標直径と実測直径の直径偏差の変化量を偏差と

して前記シリコン単結晶棒(24)の引上げ速度にフィードバックする際に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越えないように前記引上げ速度をP I D制御することを特徴とするシリコン単結晶を製造する方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、チョクラルスキー法で引上げられるシリコン単結晶棒をP I D制御することにより、直径変動を抑制したシリコン単結晶の製造方法に関するものである。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

従来、シリコン単結晶の引上げ速度の制御方法として、シリコン単結晶棒の引上げ中における直径の偏差を単結晶棒の引上げ速度に直接フィードバックする第1の方法や、上記直径の偏差をヒータ温度に直接フィードバックする第2の方法などが知られている。

##### 【0003】

一方、近年の半導体デバイスの高集積化に伴い、デザインルールがより微細化され、材料であるシリコンウェーハ上の微細な欠陥がデバイス収率に大きな影響を及ぼしている。そこで引上げた単結晶棒をその軸に直交する面でスライスしてウェーハを作製したときに、このウェーハの全面にわたって微細な欠陥の無いウェーハを製造する必要がある。このため単結晶棒の引上げ時における固液界面近傍の軸方向の温度勾配をG ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) とし、その引上げ速度をV ( $\text{mm}/\text{分}$ ) とするとき、 $V/G$  が一定になるように引上げ速度を全長にわたって設定し、この設定された引上げ速度になるように制御することが重要になってくる。上記 $V/G$  を全長にわたり一定に保つためには、単結晶棒の引上げ初期のトップ部で温度勾配G が大きく、トップ部から所定の引上げ位置までは温度勾配が小さくなるため、上記温度勾配G の変化に合った引上げ速度を設定すると、トップ部の引上げ速度は速く設定する必要があり、所定の引上げ位置まで引上げ速度を次第に減少させる設定が一般的である。

### 【0004】

しかし、この設定引上げ速度の相違はそのまま実際の引上げ速度の相違となるため、上記第1の方法によりトップ部の制御性を向上させようとすると、トップ部以外の直径変動が大きくなり、トップ部以外の制御性を向上させようとすると、トップ部の直径変動が大きくなる問題点がある。

また、上記第2の方法では、ヒータ温度の制御幅と融液温度の変化幅及び変化時間が液面とヒータの位置関係や融液量によって変化するため、ヒータ温度の制御が非常に難しくなり、状況によっては、実際の引上げ速度の変化方向とヒータ温度の補正方向が一致しなくなり、直径変動が大きくなるおそれがある。

### 【0005】

これらの点を解消するために、シリコン単結晶棒の引上げ速度の制御値を演算し、この引上げ速度の制御値に引上げ速度のスパン制限を行い、かつ上記演算された引上げ速度の制御値にスパン制限をする前に、引上げ速度の制御値と設定引上げ速度を比較することによりヒータ温度の補正量を演算してヒータ温度の設定出力を得て、シリコン単結晶棒の直径を制御するシリコン単結晶の製造方法が開示されている（特開2001-316199号）。

### 【0006】

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記従来の特開2001-316199号公報に示されたシリコン単結晶の製造方法では、引上げ速度制御値にスパン制限する前に、引上げ速度制御値と設定引上げ速度を比較してその偏差をヒータ温度にフィードバックしているため、ヒータ温度の補正量が実際の引上げ速度の偏差に追いつかず、未だ単結晶棒の直径の変動が大きくなるおそれがある。

本発明の目的は、V/Gが一定になるようにシリコン単結晶棒の設定引上げ速度が設定され、この設定引上げ速度に一致するように実際の引上げ速度を精度良く制御でき、これにより単結晶棒の直径変動を抑制できる、シリコン単結晶を製造する方法を提供することにある。

### 【0007】

#### 【課題を解決するための手段】

請求項1に係る発明は、図1及び図2に示すように、ヒータ17により融解されたシリコン融液13からシリコン単結晶棒24を引上げ、この引上げ中のシリコン単結晶棒24の直径変化を所定時間毎に検出し、この検出出力をシリコン単結晶棒24の引上げ速度及びヒータ17温度にフィードバックしてシリコン単結晶棒24の直径を制御するシリコン単結晶を製造する方法の改良である。

その特徴ある構成は、シリコン単結晶棒24が目標直径になるようにシリコン単結晶棒24の引上げ速度を制御する方法と、シリコン単結晶棒24が目標直径になるようにヒータ17温度を制御する方法とに、それぞれ複数段階にPID定数を変化させたPID制御を適用するところにある。

#### 【0008】

この請求項1に記載されたシリコン単結晶を製造する方法では、シリコン単結晶棒24のトップ部の引上げ時は設定引上げ速度が速くその直径変動も大きい傾向にあり、このトップ部の直径を早期に安定させるために、PID制御のPID定数を大きく設定してシリコン単結晶棒24の直径偏差に対する引上げ速度の補正量を大きくすることにより、シリコン単結晶棒24の直径制御を優先する制御を行う。一方、シリコン単結晶棒24のトップ部以降の引上げ時は設定引上げ速度がトップ部に比べて低下し、その直径変動も小さくなる傾向にあり、安定した無欠陥のシリコン単結晶棒24を引上げるために、PID制御のPID定数を設定引上げ速度に応じて段階的に小さく変化させてシリコン単結晶棒24の直径偏差に対する引上げ速度の補正量を小さくすることにより、シリコン単結晶棒24の引上げ速度制御を優先する制御を行う。ここで、請求項1における「複数段階のPID制御」とは、上述のようにPID制御のPID定数を段階的に変化させることをいう。

#### 【0009】

請求項2に係る発明は、図1及び図2に示すように、シリコン単結晶棒24が目標直径になるようにシリコン単結晶棒24の引上げ速度をPID制御する方法にシリコン単結晶棒24の目標直径及び実測直径の直径偏差を直接フィードバックする方法と、上記直径偏差の変化量を偏差として現在の引上げ速度にフィードバックする方法とを組合せることを特徴とする。

この請求項 2 に記載されたシリコン単結晶を製造する方法では、シリコン単結晶棒 24 のトップ部以降の引上げ時に、前回の引上げ速度への P I D 制御フィードバック時点でのシリコン単結晶棒 24 の目標直径と実測直径の直径偏差を基準とし、今回のシリコン単結晶棒 24 の目標直径と実測直径の直径偏差の変化量を偏差として、前回の引上げ速度を補正することにより、トップ部以降の引上げ時におけるシリコン単結晶棒 24 の引上げ速度の変動を更に抑制する。

#### 【0010】

請求項 3 に係る発明は、図 1 及び図 2 に示すように、シリコン単結晶棒 24 の目標直径と実測直径の直径偏差の変化量を偏差としてシリコン単結晶棒 24 の引上げ速度にフィードバックする際に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越えないように上記引上げ速度を P I D 制御することを特徴とする。

この請求項 3 に記載されたシリコン単結晶を製造する方法では、シリコン単結晶棒 24 の引上げ時に、前回のシリコン単結晶棒 24 の引上げ速度を基準として、今回のシリコン単結晶棒 24 の引上げ速度にシリコン単結晶棒 24 の直径偏差の変化量を偏差としてフィードバックする際に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越える場合、この補正が最大変動幅に制限されるので、シリコン単結晶棒 24 の引上げ速度の変動を最小限に抑えることができる。

#### 【0011】

##### 【発明の実施の形態】

次に本発明の第 1 の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図 1 に示すように、シリコン単結晶の引上げ装置 10 は、内部を真空可能に構成されたメインチャンバ 11 と、このチャンバ内の中間に設けられたるつぼ 12 とを備える。メインチャンバ 11 は円筒状の真空容器である。またつぼ 12 は、石英により形成されシリコン融液 13 が貯留される有底円筒状の内層容器 12 a と、黒鉛により形成され上記内層容器 12 a の外側に嵌合された有底円筒状の外層容器 12 b とからなる。外層容器 12 b の底面にはシャフト 14 の上端が接続され、このシャフト 14 の下端にはシャフトを介してつぼ 12 を回転させかつ昇降させるつぼ駆動手段 16 が設けられる。更につぼ 12 の外周面は円筒状のヒータ 17 により所定の間隔をあけて包囲され、このヒータ 17 の外周面は

円筒状の保温筒18により所定の間隔をあけて包囲される。

#### 【0012】

一方、メインチャンバ11の上端には、メインチャンバより小径の円筒状のプルチャンバ19が接続される。このプルチャンバの上端にはシード引上げ手段（図示せず）が設けられ、このシード引上げ手段は下端がメインチャンバ11内のシリコン融液13表面に達する引上げ軸21を回転させかつ昇降させるように構成される。この引上げ軸21の下端にはシードチャック23が設けられ、このチャックは種結晶22を持するように構成される。この種結晶22の下端をシリコン融液13中に浸漬した後、シード引上げ手段により種結晶22及びるつぼ12をそれぞれ回転させかつ上昇させることにより、種結晶22の下端からシリコン単結晶棒24を引上げて成長させるように構成される。

#### 【0013】

また上記引上げ中の固液界面近傍のシリコン単結晶棒24の直径は直径検出センサ（図示せず）により所定時間毎に検出される。この直径検出センサはCCDカメラ、放射温度計等により構成される。直径検出センサの検出出力はコントローラ（図示せず）の制御入力に接続され、コントローラの制御出力はヒータ17、シード引上げ手段及びるつぼ駆動手段16に接続される。またコントローラにはメモリが設けられる。このメモリには、引上げられるシリコン単結晶棒24の目標直径と、V/Gが一定になるようにシリコン単結晶棒24の全長にわたって設定された設定引上げ速度と、V/Gが一定になるようにシリコン単結晶棒24の全長にわたって設定された設定ヒータ温度とがマップとして記憶される。ここで、Vはシリコン単結晶棒24の引上げ速度であり、Gはシリコン単結晶棒24の引上げ時における固液界面近傍の軸方向の温度勾配である。

#### 【0014】

コントローラは直径検出センサの検出出力に基づいてヒータ17、シード引上げ手段及びるつぼ駆動手段16を制御する。即ち、コントローラは、図1及び図2に示すように、上記直径変化の検出出力をヒータ17、シード引上げ手段及びるつぼ駆動手段16にフィードバックすることにより、シリコン単結晶棒24の直径を制御するように構成される。シリコン単結晶棒24の直径の制御方法とし

では、シリコン単結晶棒24の直径が目標直径になるようにシリコン単結晶棒24の引上げ速度を優先してPID制御する方法と、シリコン単結晶棒24の直径が目標直径になるようにヒータ17温度を優先してPID制御する方法とが用いられ、これらの方法にそれぞれ複数段階にPID定数を変化させたPID制御が適用されるように構成される。なお、PID制御とは、フィードバック制御の一つ方式であり、フィードバック信号として、系の出力に比例した信号と、系の出力を積分した信号と、系の出力を微分した信号とを合せて用いる制御である。

### 【0015】

具体的には、コントローラはシリコン単結晶棒24のトップ部の引上げ時に直径制御を優先し、トップ部以降の引上げ時に引上げ速度制御を優先するように、式①に基づいて引上げ速度を制御するように構成される。

$$\begin{aligned} V_n = & V_s + P K_p (V_m/V_t) [d_n \\ & + I K_i (V_m/V_t) \sum \{(d_{n-1} + d_n)/2\} \times \Delta t \\ & + D K_d (V_m/V_t) [(d_n - d_{n-1}) / \Delta t] \times \exp(-t/T)] \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

ここで式①において、 $V_n$ は制御すべき引上げ速度であり、 $V_s$ は設定引上げ速度であり、 $V_m/V_t$ はシリコン単結晶棒24のトップ部の引上げ時を基準とするPID定数の傾きであり、 $P$ はPID制御のトップ部でのP定数であり、 $I$ はPID制御のトップ部でのI定数であり、 $D$ はPID制御のトップ部でのD定数であり、 $K_p$ はP定数の補正係数であり、 $K_i$ はI定数の補正係数であり、 $K_d$ はD定数の補正係数であり、 $d_n$ は今回の目標直径と実測直径の直径偏差であり、 $d_{n-1}$ は前回の目標直径と実測直径の直径偏差であり、 $\Delta t$ はサンプリング時間であり、 $t$ は $0 \sim \Delta t$ の時間であり、 $T$ は時定数である。また $P K_p (V_m/V_t)$ はP定数項であり、 $I K_i (V_m/V_t)$ はI定数項であり、 $D K_d (V_m/V_t)$ はD定数項である。なお、本明細書において、「トップ部」とは、引上げられたシリコン単結晶棒24の定型部0mmから定型長100mm程度、即ちシリコン単結晶棒24の直径が一定になってから100mm程度までの範囲Aをいう。

### 【0016】

このように構成されたシリコン単結晶を製造する方法を図1及び図2に基づいて説明する。

シリコン単結晶棒24のトップ部を引上げるときには、設定引上げ速度が速く、直径変動も大きいので、コントローラは式①のP定数項、I定数項及びD定数項を大きく設定する。即ち、トップ部の引上げ時にはPID定数の傾き $V_m/V_t$ が大きいので、P定数項、I定数項及びD定数項は大きくなる。この結果、直径偏差に対する引上げ速度の補正量が大きくなり、直径制御が優先されるので、トップ部の直径変動を速やかに安定させることができる。

#### 【0017】

一方、上記トップ部以降を引上げるときには、設定引上げ速度が遅く、直径変動も小さいので、コントローラが式①のトップ部以降の引上げ時にPID定数の傾き $V_m/V_t$ を小さくすることにより、P定数項、I定数項及びD定数項が小さくなる。この結果、直径偏差に対する引上げ速度の補正量が小さくなり、引上げ速度制御が優先されるので、トップ部以降の引上げ速度変動を最小限に抑えた直径制御を行うことができる。

#### 【0018】

なお、この実施の形態において、直径制御を優先するときに、シリコン単結晶棒の全長にわたって設定されているヒータ温度マップと固液界面の位置及び融液残量の各検出出力に基づいて、ヒータ温度を補正する場合においても、このヒータ温度の補正量を設定引上げ速度の関係式として算出し加算してもよい。即ち、メモリに融液量及び固液界面位置によるヒータ温度の補正量をマップとして記憶し、この補正量を設定引上げ速度の大小により更に補正したり、或いは設定引上げ速度の関数としてヒータ温度のPID定数を補正することにより、引上げ速度の変動を速やかに抑制できる。この結果、直径制御を優先する場合でも、シリコン単結晶棒をスライスして得られたウェーハを全面にわたって無欠陥にすることができる。

#### 【0019】

次に本発明の第2の実施の形態を説明する。

この実施の形態では、シリコン単結晶棒24が目標直径になるようにシリコン単結晶棒24の引上げ速度をPID制御する方法にシリコン単結晶棒24の目標直径及び実測直径の直径偏差を直接フィードバックする方法と、上記直径偏差の

変化量を偏差として現在の引上げ速度にフィードバックする方法とを組合せるこ  
とにより、シリコン単結晶棒24が目標直径となるように制御する。

### 【0020】

直径制御を優先するときに上記第1の実施の形態に記載した式①に基づいて引  
上げ速度を制御し、引上げ速度制御を優先するときに次の式②に基づいて引上げ  
速度を制御する。

$$\begin{aligned} V_n = & V_{n-1} + P [d_n - d_{n-1}] \\ & + I \left\{ (d_{n-1} + d_n) / 2 \right\} \times \Delta t \\ & + D (d_n + 2d_{n-1} - 6d_{n-2} + 2d_{n-3} + d_{n-4}) / (6 \Delta t) \quad \cdots ② \end{aligned}$$

ここで式②において、 $V_n$ は今回の制御すべき引上げ速度であり、 $V_{n-1}$ は前回  
の制御すべき引上げ速度であり、PはPID制御のP定数であり、IはPID制  
御のI定数であり、DはPID制御のD定数であり、 $d_n$ は今回の目標直径と実  
測直径の直径偏差であり、 $d_{n-1}$ は前回の目標直径と実測直径の直径偏差であり  
、 $d_{n-2}$ は2回前の目標直径と実測直径の直径偏差であり、 $d_{n-3}$ は3回前の目標  
直径と実測直径の直径偏差であり、 $d_{n-4}$ は4回前の目標直径と実測直径の直径  
偏差であり、 $\Delta t$ はサンプリング時間である。なお、式②において、今回の制御  
すべき引上げ速度 $V_n$ と前回の制御すべき引上げ速度 $V_{n-1}$ との差の絶対値が所定  
の引上げ速度の変動幅を越えないように引上げ速度 $V_n$ を制御するように構成さ  
れる。

### 【0021】

このように構成されたシリコン単結晶を製造する方法を説明する。

シリコン単結晶棒24のトップ部を引上げるときには、第1の実施の形態と同  
様に、設定引上げ速度が速く、直径変動も大きいので、コントローラは式①のP  
定数、I定数及びD定数を大きく設定する。即ち、トップ部の引上げ時にはPID  
定数の傾き $V_m/V_t$ が大きいので、P定数、I定数及びD定数が大きくなる。  
この結果、直径偏差に対する引上げ速度の補正量が大きくなり、直径制御が優先  
されるので、トップ部の直径変動を速やかに安定させることができる。

### 【0022】

一方、トップ部以降を引上げるときには、式②を用いて今回の引上げ速度を算

出することにより、シリコン単結晶棒24の引上げ速度の変動を更に抑制できる。具体的には、前回の制御すべき引上げ速度 $V_{n-1}$ を基準とする実測直径と目標直径の差である前回の直径偏差を $\delta_{n-1}$ とし、今回の直径偏差を偏差 $\delta_n$ とするとき、上記偏差 $\delta_n$ から上記偏差 $\delta_{n-1}$ を引いた値で前回の制御すべき引上げ速度 $V_{n-1}$ を補正するので、シリコン単結晶棒24の引上げ速度の変動を更に抑制できる。

### 【0023】

なお、第2の実施の形態において、シリコン単結晶棒24の目標直径及び実測直径の直径偏差の変化量を偏差としてシリコン単結晶棒24の引上げ速度にフィードバックする際に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越えないように上記引上げ速度をP I D制御することが好ましい。具体的には前回の制御すべき引上げ速度 $V_{n-1}$ を次に制御すべき引上げ速度 $V_n$ （今回の制御すべき引上げ速度）にフィードバックするときに、引上げ速度の変化量が最大補正量 $H_0$ を越えないように引上げ速度に制限を設け、引上げ速度の変動を抑制するよう制御することが好ましい。これにより、シリコン単結晶棒24のトップ部以降の引上げ時に、前回のシリコン単結晶棒24の引上げ速度を基準として、今回のシリコン単結晶棒24の引上げ速度にシリコン単結晶棒24の直径偏差の変化量を偏差としてフィードバックする際に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越える場合、この補正は最大変動幅に制限されるので、シリコン単結晶棒24の引上げ速度の変動を最小限に抑えることができる。

### 【0024】

#### 【実施例】

次に本発明の実施例を比較例とともに詳しく説明する。

##### <実施例1>

所定の直径のシリコン単結晶棒を式①に基づき引上げ速度を制御して引上げた。

##### <比較例1>

所定の直径のシリコン単結晶棒を式③に基づいて引上げた。このときP I D定数をトップ部以降用に設定した。

$$V_n = V_s + P [ d_n + I \sum \{ (d_{n-1} + d_n) / 2 \} \times \Delta t \\ + D [ (d_n - d_{n-1}) / \Delta t ] \times \exp(-t/T) ] \quad \cdots ③$$

ここで、式③において式①の記号と同一記号は同一項を示す。

#### ＜比較例2＞

所定の直径のシリコン単結晶棒を上記式③に基づいて引上げた。このとき P I D 定数をトップ部用に設定した。

#### 【0025】

##### ＜比較試験及び評価＞

実施例 1 と 比較例 1 と 比較例 2 の 設定引上げ速度に対する 実際の引上げ速度の変化を図 3～図 5 に示した。

図 3～図 5 から明らかなように、比較例 1 では 実際の引上げ速度が 設定引上げ速度に 収束するまでの 引上げ長が 約 150 mm 以上と 比較的長く（図 4）、比較例 2 では トップ部以降の速度変動が 大きく 品質にばらつきが生じた（図 5）のに対し、実施例 1 では 実際の引上げ速度が 設定引上げ速度に 収束するまでの 引上げ長が 約 100 mm と 短くなった（図 3）。

#### 【0026】

##### 【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、シリコン単結晶棒が目標直径になるようにシリコン単結晶棒の引上げ速度を制御する方法と、シリコン単結晶棒が目標直径になるようにヒータ温度を制御する方法とに、それぞれ複数段階に P I D 定数を変化させた P I D 制御を適用したので、シリコン単結晶棒のトップ部の引上げ時に P I D 制御の P I D 定数を大きく設定してシリコン単結晶棒の直径制御を優先する制御を行い、シリコン単結晶棒のトップ部以降の引上げ時に P I D 制御の P I D 定数を段階的に小さくしてシリコン単結晶棒の引上げ速度制御を優先する制御を行う。この結果、シリコン単結晶棒のトップ部の引上げ時は直径偏差に対する引上げ速度の補正量が大きくなり、トップ部の直径変動を速やかに安定させることができ、シリコン単結晶棒のトップ部以降の引上げ時は直径偏差に対する引上げ速度の補正量が小さくなり、トップ部以降の直径変動を最小限に抑えることができる。

**【0027】**

またシリコン単結晶棒が目標直径になるようにシリコン単結晶棒の引上げ速度をP I D制御する方法にシリコン単結晶棒の目標直径及び実測直径の直径偏差を直接フィードバックする方法と、上記直径偏差の変化量を偏差として現在の引上げ速度にフィードバックする方法とを組合せれば、シリコン単結晶棒のトップ部以降の引上げ時に、前回のシリコン単結晶棒の引上げ速度へのP I D制御フィードバック時点での引上げ速度を基準とし、シリコン単結晶棒の目標直径及び実測直径の前回の直径偏差を、シリコン単結晶棒の目標直径及び実測直径の今回の直径偏差から引いた変化量を偏差として、前回の引上げ速度を補正することにより、トップ部以降の引上げ時におけるシリコン単結晶棒の引上げ速度の変動を上記より抑制できる。

**【0028】**

更にシリコン単結晶棒の目標直径と実測直径の直径偏差の変化量を偏差としてシリコン単結晶棒の引上げ速度にフィードバックする際に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越えないように上記引上げ速度をP I D制御すれば、シリコン単結晶棒の引上げ時に、現在の引上げ速度に対する補正の最大変動幅を越える場合、この補正が最大変動幅に制限されるので、シリコン単結晶棒の引上げ速度の変動を最小限に抑えることができる。

**【図面の簡単な説明】****【図 1】**

本発明の第1及び第2実施形態のシリコン単結晶の引上げ装置を示す縦断面図。

**【図 2】**

そのシリコン単結晶棒を引上げるときの制御を示すブロック線図。

**【図 3】**

実施例1のシリコン単結晶棒の引上げ長の変化に対する引上げ速度の変化を示す図。

**【図 4】**

比較例1のシリコン単結晶棒の引上げ長の変化に対する引上げ速度の変化を示す図。

す図。

【図5】

比較例2のシリコン単結晶棒の引上げ長の変化に対する引上げ速度の変化を示す図。

【符号の説明】

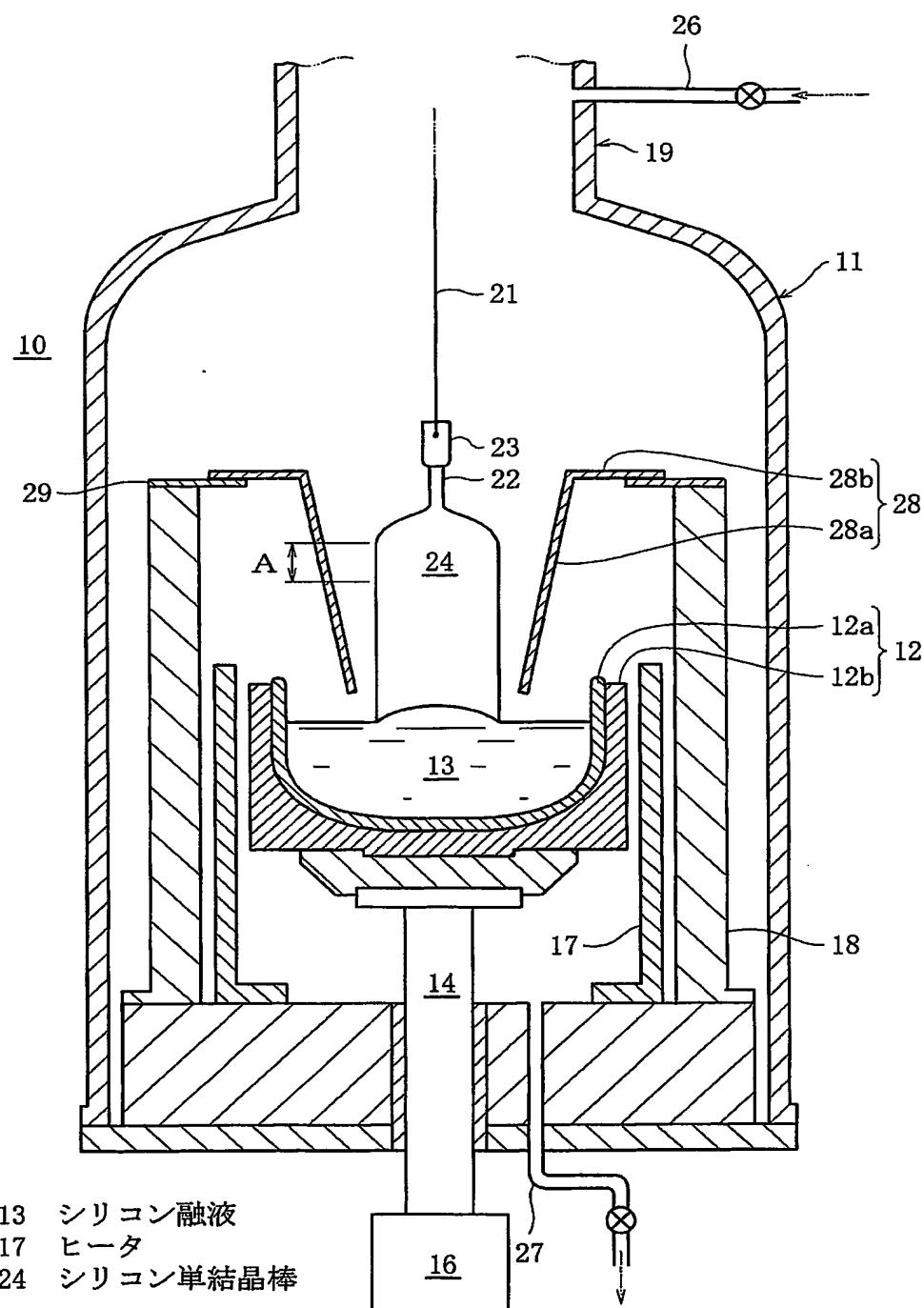
1 3 シリコン融液

1 7 ヒータ

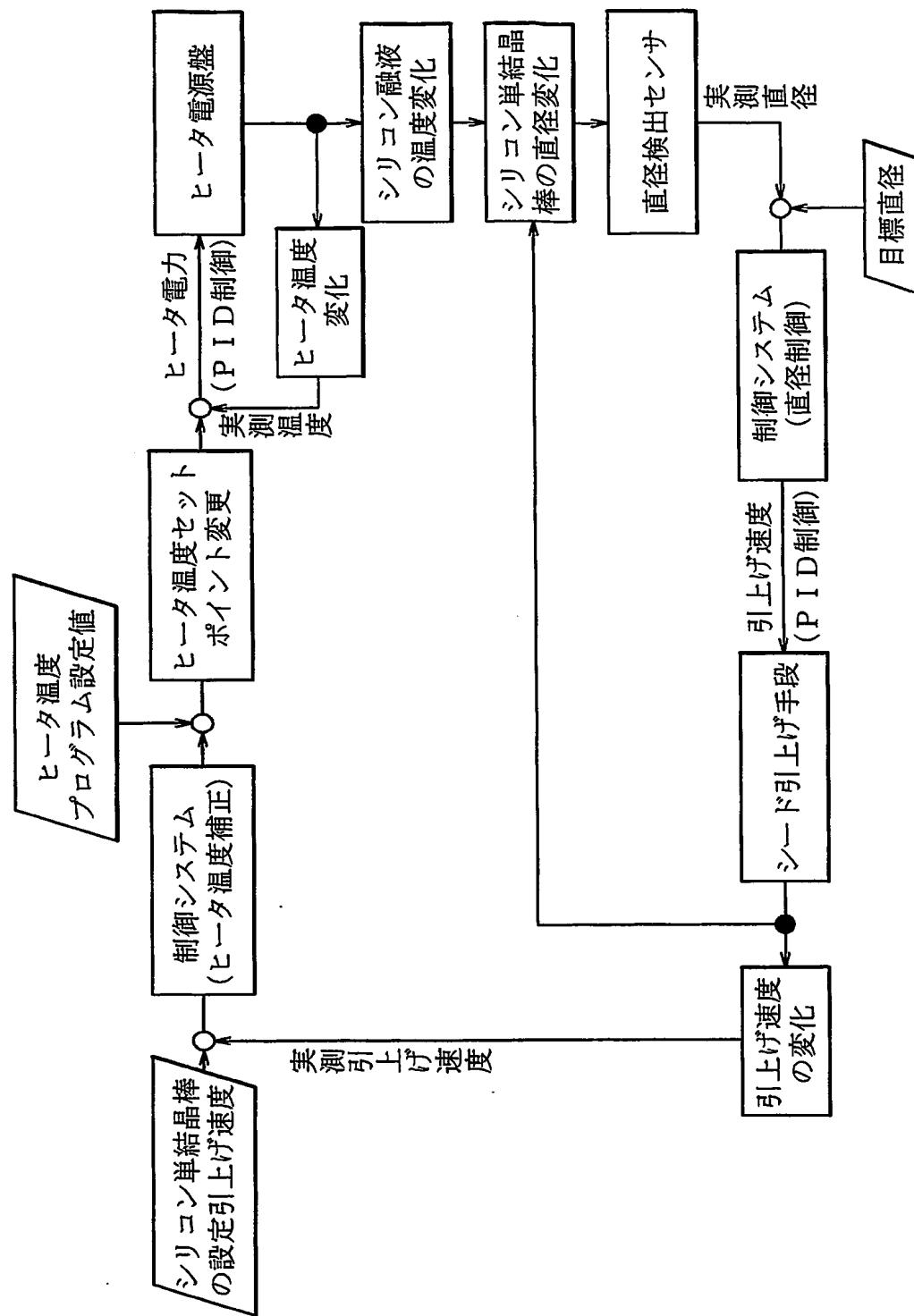
2 4 シリコン単結晶棒

【書類名】 図面

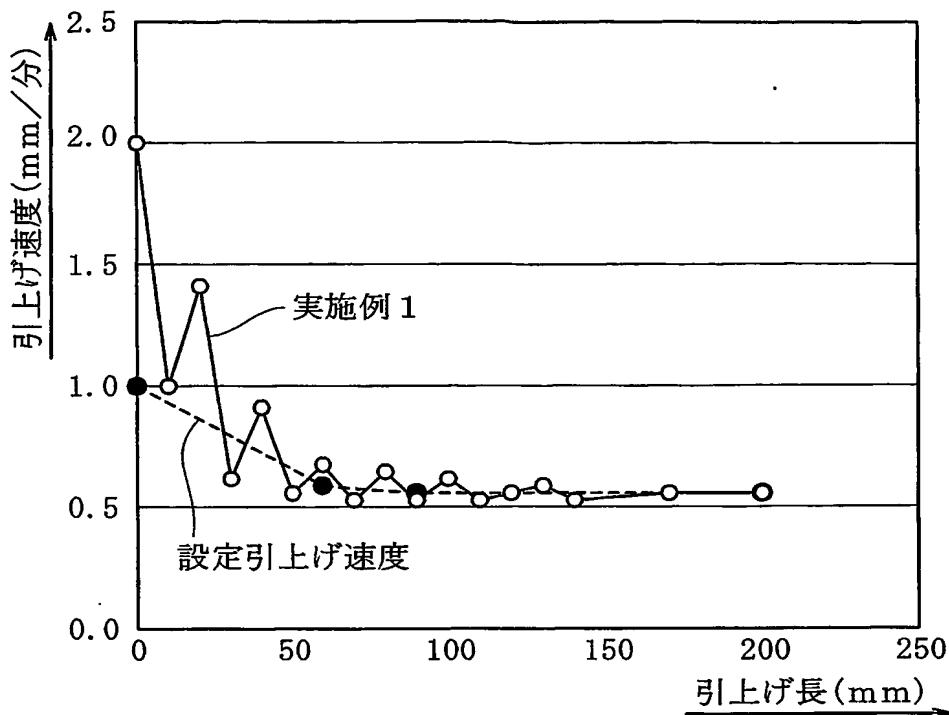
【図 1】



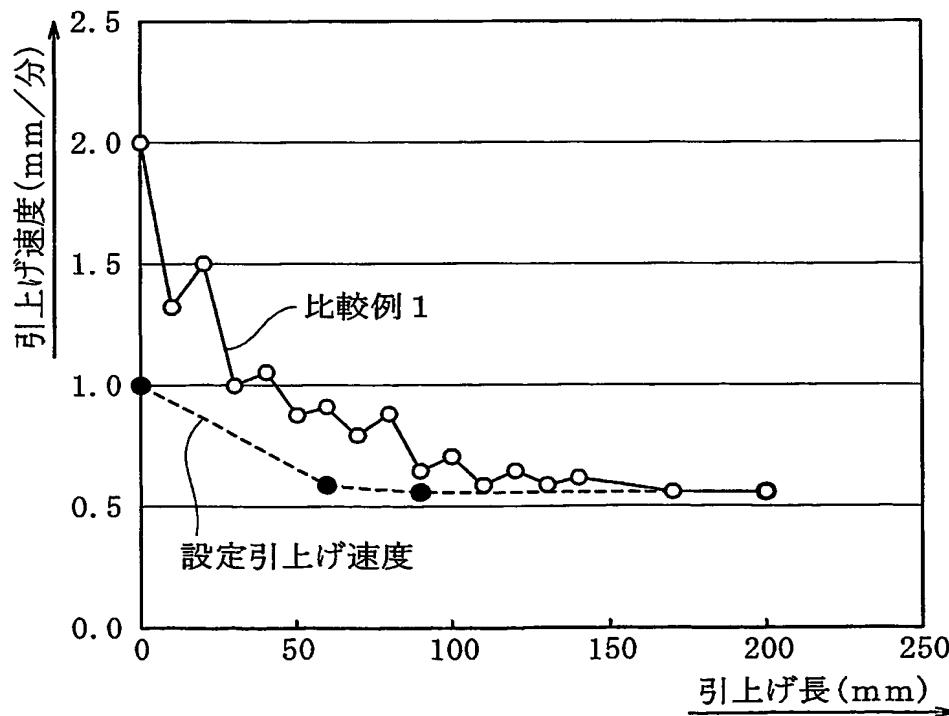
【図2】



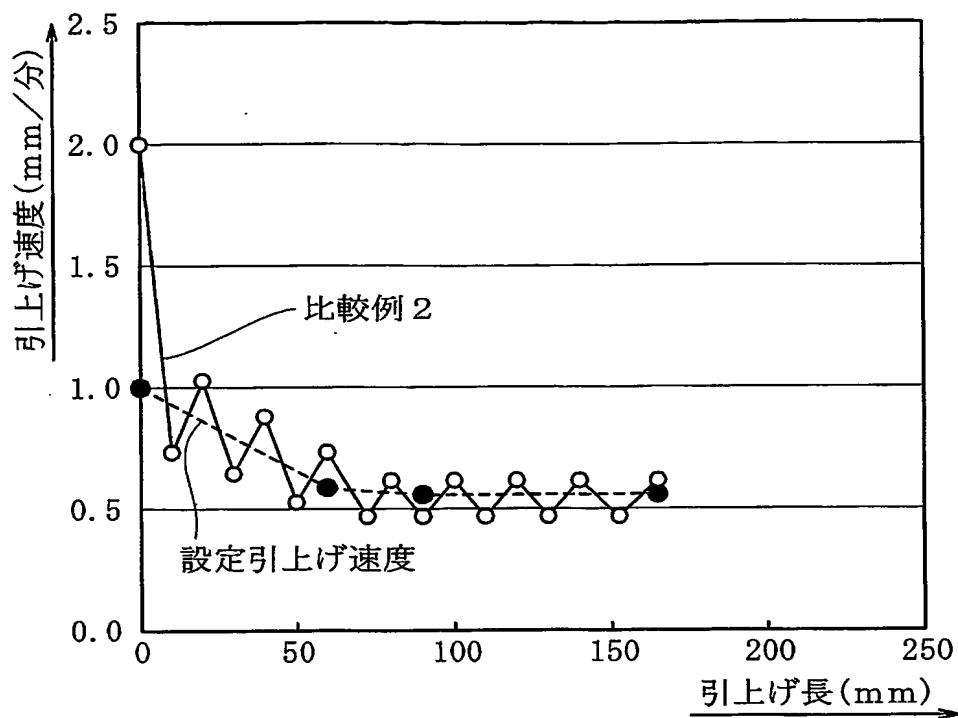
【図3】



【図4】



【図5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】  $V/G$  が一定になるようにシリコン単結晶棒の設定引上げ速度が設定され、この設定引上げ速度に一致するように実際の引上げ速度を精度良く制御し、これにより単結晶棒の直径変動を抑制する。

【解決手段】 ヒータ17により融解されたシリコン融液13からシリコン単結晶棒24を引上げ、このシリコン単結晶棒の所定時間毎の直径変化をシリコン単結晶棒の引上げ速度及びヒータの温度にフィードバックしてシリコン単結晶棒の直径を制御する。シリコン単結晶棒が目標直径になるようにシリコン単結晶棒の引上げ速度を制御する方法と、シリコン単結晶棒が目標直径になるようにヒータ温度を制御する方法とに、それぞれ複数段階にPID定数を変化させたPID制御を適用する。

【選択図】 図1

特願 2002-197140

出願人履歴情報

識別番号 [302006854]

1. 変更年月日 2002年 1月31日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都港区芝浦一丁目2番1号  
氏名 三菱住友シリコン株式会社